

## **Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias**

Ricardo Augusto Souza Machado<sup>1</sup>  
Jocimara Souza Britto Lobão<sup>1</sup>  
Raquel de Matos Cardoso do Vale<sup>1</sup>  
Ana Paula Mascarenhas Jesus de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS  
BR 116, Km 3, Feira de Santana- BA, Brasil  
georic@terra.com.br  
juci.lobao@gmail.com  
valeraquel@gmail.com  
paulaiveteira@hotmail.com

**Abstract:** The concept of the hydrographic basin has been increasing through these years, lengthening beyond the hydrologic expression. Comprehended as a biophysics complex, the water is convergent point of an environmental system of multiples relations set up between several physics elements, biotic and anthropic, where the search for environmental quality needs information that must have much more significations than what is provided by the direct observations. On this context, the morphometric analysis corresponded to an assemblage of proceedings that characterize geometrics views and the composition of environmental systems, serving as indicators related to its form, the structural arrangement and interaction between flowing and the water-course river's network of the hydrographic basin, which at this time attests situations and values that overcome hydrologic and geomorphologic questions. Thus, this article has the objective to demonstrate the possibilities of use of morphometrics parameters as supporting' elements to indicator's definition and elaboration to environmental management, making use of remote sense's technics and the geographic information system, used to characterize a hydrographic basin. The information obtained from the analysis of morphometric parameters or associated with these shows is of great value to municipal management, as they provide the basic reference for understanding the systems in question and also to better targeting of planning, serving as a point of departure for the definition and development of environmental indicators.

**Palavras-chave:** Morphometric analysis, environmental indicators, geotechnologies. Análise morfométrica, indicadores ambientais, geotecnologias.

### **1. Introdução**

As redes de drenagens fluviais sempre tiveram um papel central nos estudos hidrológicos, que procuram compreender a ocorrência, distribuição, movimentação da água e de suas propriedades, assim como nos estudos geomorfológicos, pois se constituem em um dos processos morfogenéticos mais ativos na composição das paisagens terrestres. De acordo com Christofolletti (1980, p. 106) os trabalhos elaborados por Robert E. Horton serviram de base para inúmeras outras pesquisas, a partir do estabelecimento de leis sobre o desenvolvimento dos rios e de suas bacias de drenagem, em uma abordagem de caráter quantitativo ou morfométrico. A análise morfométrica objetiva estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes.

Conceitualmente, a bacia hidrográfica tem sido utilizada como unidade de gestão da paisagem nas áreas relacionadas ao planejamento ambiental, especialmente na gestão dos recursos hídricos. Pires et al (2005, p. 17-18) destacam que o conceito tem sido ampliado ao longo dos anos, sendo a bacia hidrográfica compreendida como um sistema biofísico complexo, que evidencia sistemas hidrológicos e ecológicos coesos. A água é o ponto de

convergência de um sistema ambiental de múltiplas relações estabelecidas entre os diversos componentes físicos, bióticos e antrópicos.

Ao longo das últimas décadas, ações corretivas e de prevenção surgiram em função da discussão sobre a importância em se promover o desenvolvimento econômico e social aliado a proteção ambiental, onde a inclusão de medidas de disciplinamento, principalmente da ocupação e uso do solo e da apropriação dos recursos naturais assumem um papel fundamental (BEZERRA, 2008). Outro aspecto relevante é que a busca pela qualidade ambiental necessita de informações que tenham um significado muito maior do que aquele que é fornecido pelas observações diretas. Neste ponto, os Indicadores Ambientais se constituem como importante ferramenta de auxílio à decisão e cumprem o objetivo de melhorar a comunicação entre pesquisadores, gestores públicos e a sociedade na discussão de temas complexos.

Segundo Júnior (2007, p.171), “os indicadores são informações de caráter quantitativo resultantes do cruzamento de pelo menos duas variáveis primárias (informações espaciais, temporais, ambientais, etc.)”. São informações referenciadas no tempo e espacialmente localizadas que permitem o acompanhamento dinâmico da realidade a partir da sua integração. Neste contexto, a análise morfométrica corresponde a um conjunto de procedimentos que caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999), que por sua vez evidenciam situações e valores que extrapolam as questões hidrológicas e geomorfológicas.

Partindo desta abordagem conceitual, este artigo tem como objetivo demonstrar as possibilidades de uso dos parâmetros morfométricos como elementos de suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental, valendo-se do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas.

Como instrumento de planejamento, os indicadores ambientais justificam a sua importância na gestão dos espaços urbanos e rurais, onde contribuem para um melhor aproveitamento dos recursos naturais, e, principalmente, por que funcionam como mecanismo de prevenção contra a degradação destes ambientes, possibilitando uma melhor relação entre as sociedades humanas e o meio que as cerca.

Para municípios em desenvolvimento, a possibilidade de contar com o aporte de informações desta natureza se constitui como uma alternativa real de avaliar as implicações ambientais decorrentes do planejamento (ou da falta dele), em busca de um modelo que seja ecologicamente mais sadio e socialmente mais justo. Assim, torna-se relevante responder como as ações de planejamento, regulação e administração do território sob uma perspectiva ambiental podem ser auxiliadas por Indicadores derivados ou relacionados aos parâmetros morfométricos.

## **2. Metodologia de Trabalho**

A metodologia utilizada constou inicialmente no levantamento de Teses, Dissertações e Artigos Científicos relacionados à análise morfométrica de bacias hidrográficas, a partir de sites de busca na internet. Esses documentos foram relacionados de forma aleatória, até o número total de 20 (valor arbitrário), tendo seu conteúdo técnico e científico avaliado posteriormente. Os trabalhos em que a qualidade não foi considerada satisfatória foram substituídos por outros coletados segundo os mesmos princípios. Esta avaliação se deu segundo a observância de critérios específicos, tais como a clareza com relação aos objetivos

apresentados, relevância conceitual ou metodológica e consistência nas discussões e resultados.

A segunda etapa consistiu na identificação e conceituação das variáveis morfométricas utilizadas nos trabalhos selecionados, e na elaboração de uma matriz comparativa. Como área de estudo, foi escolhida a bacia hidrográfica do rio Jacuípe, sub-bacia do rio Paraguaçu, que ocupa uma superfície total de 11.689 km<sup>2</sup>, ou cerca de 2% do território do Estado da Bahia.

É um rio perene, que tem sua nascente no piemonte da Chapada Diamantina, especificamente no município de Morro do Chapéu. Recorta em um percurso de aproximadamente 300 km municípios como Anguera, Conceição do Coité, Feira de Santana, Morro do Chapéu, Santa Bárbara, São José do Jacuípe, Serrinha, Valente, dentre outros, para finalmente atingir o rio Paraguaçu, do qual é o principal tributário de margem esquerda.

Para este trabalho foi considerado apenas o seu baixo curso, cujos limites foram estabelecidos pelo Instituto de Gestão das Águas e Clima – INGÁ (Figura 1), compreendendo um trecho importante da Barragem de Pedra do Cavalo, principal responsável pelo abastecimento de água do município de Salvador, capital do Estado.

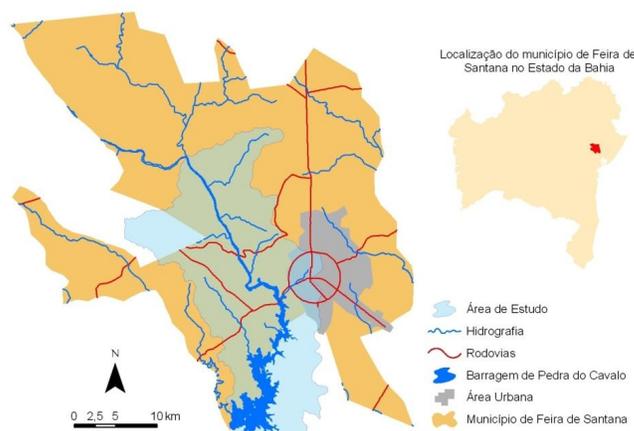


Figura 1. Localização da Área de Estudo no Estado da Bahia

O passo seguinte foi a extração da rede de drenagem, realizada automaticamente com o uso da extensão Hydrology (Spatial Analyst) do ArcGis 9.3, a partir das imagens SRTM, obtidas no site da Embrapa Solos, de acordo com a metodologia descrita em Lopes (2010). Este procedimento foi necessário em função da área não contar com base cartográfica oficial, ainda em fase de elaboração pelo governo estadual.

A validação da rede de drenagem foi realizada a partir da análise de imagens Landsat e fotografias aéreas. Gerou-se também como produtos o Modelo Digital de Terreno (MDT), curvas de nível com equidistância de 10 metros e o Perfil Topográfico.

### 3. Resultados e Discussão

Foram selecionadas e aplicadas 13 variáveis morfométricas, dentre as 56 levantadas (Tabela 1), definidas em função da sua representatividade nos trabalhos avaliados para a formulação de possíveis Indicadores Ambientais e na sua aplicação prática no processo de gestão ambiental. Assim, considerou-se para efeito de análise: área da bacia, comprimento da bacia, frequência dos canais de 1º ordem, comprimento dos canais, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, hipsometria, declividade, orientação das vertentes, coeficiente de rugosidade, perfil topográfico e padrões de drenagem.

Tabela 1. Ocorrência das variáveis morfométricas nos documentos analisados.

VARIÁVEIS	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO 3	TEXTO 4	TEXTO 5	TEXTO 6	TEXTO 7	TEXTO 8	TEXTO 9	TEXTO 10	TEXTO 11	TEXTO 12	TEXTO 13	TEXTO 14	TEXTO 15	TEXTO 16	TEXTO 17	TEXTO 18	TEXTO 19	TEXTO 20	TOTAL
1 – ÁREA DA BACIA	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	16
2 – ASSIMETRIA									X												01
3 – COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO	X	X		X			X	X		X											06
4 – COEFICIENTE DE RUGOSIDADE										X	X		X					X			04
5 – COMPRIMENTO DA BACIA	X		X			X															03
6 – COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL			X					X				X	X			X		X		X	07
7 – COMPRIMENTO TOTAL DOS CANAIS			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X		X	13
8 – COMPRIMENTO MEDIO DOS SEGMENTOS			X	X																	02
9 – COMPRIMENTO AXIAL DO CURSO D' ÁGUA								X													01
10 – DENSIDADE DE DRENAGEM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	18
11 – DENSIDADE HIDROGRÁFICA			X		X	X	X	X							X						07
12 – DECLIVIDADE MEDIA DAS BACIAS								X	X		X	X	X			X		X	X	X	09
13 – DENSIDADE DE SEGMENTOS DA BACIA	X											X	X					X	X	X	01
14 – DISSECAÇÃO VERTICAL																				X	01
15 – DISSECAÇÃO HORIZONTAL																				X	01
16 – EXTENSÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL							X	X		X	X										04
17 – FORMA DA BACIA	X	X						X													03
18 – FREQUÊNCIA DE RIOS										X	X										02
19 – FREQUÊNCIA DOS CANAIS DE 1ª ORDEM										X	X										01
20 – GRADIENTE DE CANAIS		X			X		X	X							X						04
21 – GRAU DE CONTROLE									X												01
22 – GRAU DE CONTINUIDADE									X												01
23 – GRAU DE INTERAÇÃO									X												01
24 – HIPSOMETRIA															X				X		02
25 – ÍNDICE DE CIRCULARIDADE		X				X						X	X		X	X		X			07
26 – ÍNDICE DE SINUOSIDADE		X					X	X	X				X			X		X			07
27 – MAIOR LARGURA													X			X	X	X			04
28 – MAIOR COMPRIMENTO DA BACIA				X		X					X		X			X	X	X			07
29 – NÚMERO TOTAL DOS CANAIS DE DRENAGEM				X	X	X				X											04
30 – ORDEM DA BACIA								X													01
31 – ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES																			X		01
32 – ORIENTAÇÃO												X									01
33 – ORDEM DOS CURSOS DE ÁGUA												X									01
34 – PERÍMETRO DA BACIA				X	X	X	X	X		X	X	X	X				X	X		X	12
35 – PADRÕES DE DRENAGEM									X			X									03
36 – PERFIL TOPOGRÁFICO																			X		01
37 – RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO	X		X	X		X	X	X													06
38 – RELAÇÃO ENTRE O COMPRIMENTO MEDIO DOS CANAIS DE CADA ORDEM	X		X	X		X															04
39 – RAZÃO DE TEXTURA									X	X											02
40 – TEXTURA TOPOGRÁFICA				X			X	X													03
41 – AMPLITUDE ALTIMÉTRICA MÁXIMA DA BACIA				X	X	X		X		X	X		X			X		X	X	X	11
42 – COEFICIENTE DE COMPACIDADE							X	X				X	X			X		X			06
43 – COMPRIMENTO MEDIO DOS CANAIS DE CADA ORDEM				X	X	X												X			04
44 – COMPRIMENTO DOS CANAIS POR ORDEM				X	X	X							X			X	X				06
45 – DECLIVIDADE MÉDIA DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL												X	X			X		X			04
46 – ÍNDICE DE FORMA						X		X				X	X			X		X			06
47 – ÍNDICE DE RUGOSIDADE										X	X					X					03
48 – LARGURA MÉDIA DA BACIA				X		X	X	X					X			X		X			07
49 – NÚMERO TOTAL DOS CANAIS DE DRENAGEM POR ORDEM				X	X	X											X			X	05
50 – RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DO COMPRIMENTO MEDIO DOS CANAIS E O ÍNDICE DE BIFURCAÇÃO	X		X																		02
51 – RELAÇÃO ENTRE O COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL E A ÁREA DA BACIA	X																				01
52 – RELAÇÃO DE RELEVO DA BACIA		X		X	X	X	X	X		X	X										08
53 – RELAÇÃO DE RELEVO DO RIO PRINCIPAL							X	X								X		X			02
54 – RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO								X													01
55 – RELAÇÃO DE RELEVO RELATIVO									X	X											02
56 – RELAÇÃO DE RELEVO DAS SUB-BACIAS							X														01

As análises realizadas consistiram no estabelecimento dos conceitos referentes a cada variável e na identificação das informações ambientais passíveis de serem obtidas a partir de cada uma delas. Assim, chegou-se aos seguintes resultados:

- Área da Bacia – Quanto maior a área, maior os esforços de monitoramento, pressupondo também uma maior diversidade de ambientes. A área serve como variável básica para análise, combinada a outras variáveis.
- Comprimento da Bacia – Estabelece relação com a forma da bacia, que associado às variáveis de área e perímetro permite evidenciar uma maior diversidade de ambientes.
- Freqüência dos canais de 1º ordem – Delimitação das áreas de nascente (APP). Identificação de áreas de recarga. Teoricamente são áreas de vegetação mais densa. Estão associadas a áreas de maior elevação do relevo.

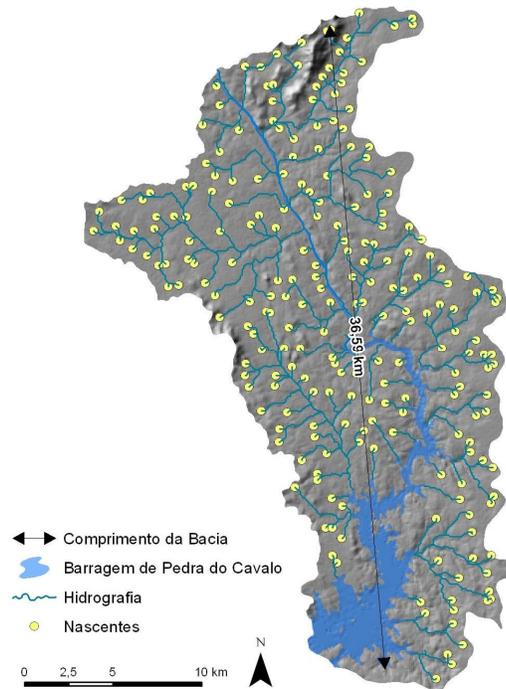


Figura 2. Rede de drenagem, nascentes e comprimento da bacia.

- Comprimento dos Canais – Delimitação da área total de APP. O comprimento por ordem evidencia, teoricamente, que quanto maior a hierarquia maior a largura do rio e conseqüentemente maiores são as áreas de APP.
- Comprimento do rio principal – serve para evidenciar a diversidade de ambientes que o rio percorre, a vazão, a carga de sedimentos que permitem análises de susceptibilidade ambiental, delimitação das áreas de APP, morfologia de foz e indicação de áreas prioritárias para a conservação.
- Densidade de drenagem – Áreas densamente drenadas tendem a ter processos erosivos mais intensos e por isso merecem mais atenção com relação as suas práticas de manejo e conservação de mata ciliar. Teoricamente, quanto maior a densidade, menor o comprimento dos rios.
- Coeficiente de Manutenção – Área mínima necessária para a manutenção de um metro de escoamento. Evidencia áreas de recarga, podendo ser associada ao índice de impermeabilização do solo e ao tipo de substrato rochoso. Permite avaliar o risco de disponibilidade hídrica.
- Hipsometria – Determina os pontos mais altos da bacia (associação com nascentes), evidencia rios mais jovens, que apresentam maior velocidade das águas, menor comprimento do talvegue, incremento dos processos erosivos, identifica o grau de propensão a erosão.
- Declividade (Figura 3) - influencia na infiltração e nos processos erosivos fluviais e pluviais, assim como na tipologia da vegetação. Contribui para a formação do solo e serve de indicador na definição de áreas de risco e restrição de uso. A declividade dos rios pode ser associada à velocidade do escoamento, transporte de sedimentos e conformação das APP.
- Perfil topográfico – Permite identificar a diversidade dos vários ambientes dentro da bacia, em função da altitude e da distância percorrida. Pode ser analisado conjuntamente com outras variáveis, possibilitando uma análise integrada.
-

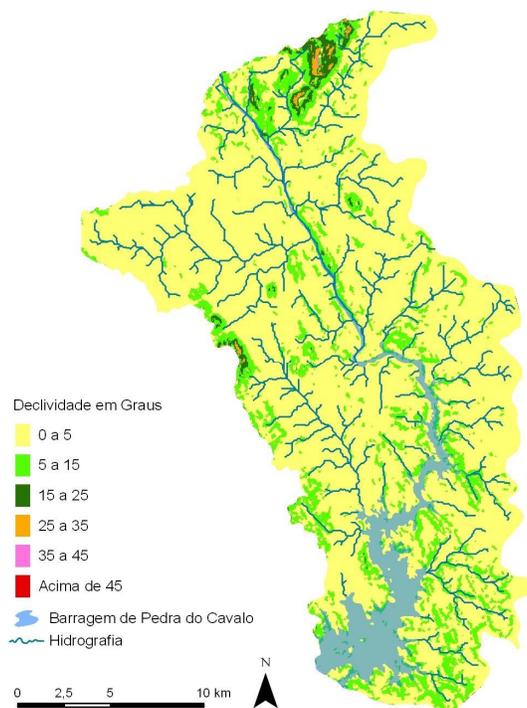


Figura 3. Declividade em graus.

- Orientação das vertentes (Figura 4) – Relação com os processos eólicos, umidade, evaporação e luminosidade, influenciando a formação e o desenvolvimento da vegetação. Determina a direção do escoamento fluvial e pluvial.

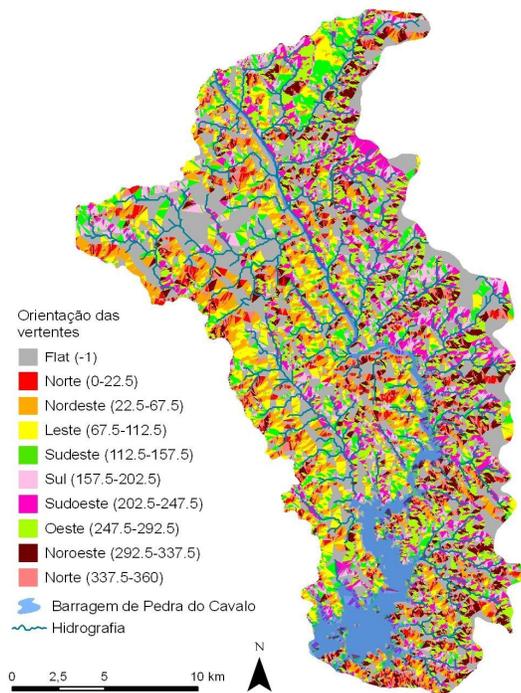


Figura 4. Orientação das vertentes.

- Coeficiente de rugosidade – evidencia maior diversidade de ambientes e maior movimento do relevo, o que implica na variação das declividades e comprimento das vertentes, além da dimensão das drenagens. A declividade influencia na infiltração e nos processos erosivos, em função do escoamento superficial. Indica a dissecação do relevo. Quanto maior esse coeficiente, mais restritiva serão as possibilidades de uso (irrigação, por exemplo).
- Padrões de drenagem – Reflete a natureza do substrato rochoso, que tem implicação direta nas diferenças de declividade, vazão, fluxo e dinâmica fluvial.

Com relação à área de estudo, esta apresenta uma superfície de 468 km<sup>2</sup>, equivalente a 33,5 % do município de Feira de Santana. O comprimento total da bacia é de 37 km, aproximadamente, com perímetro de 131,40 km. Apresenta 258 canais de primeira ordem, evidenciando a presença de nascentes no equivalente a 53,6% de sua rede de drenagem, o que demanda 200 hectares de áreas de APP. O rio principal se estende por 19,11 km, compondo uma rede de drenagem de 398,81 km de extensão. As áreas de APP associadas a esta rede, excetuando as nascentes, correspondem a 1.192 hectares estimados.

A densidade de drenagem é de 0,852 km/km<sup>2</sup>, considerada muito baixa, demandando um coeficiente de manutenção de 1.173,47m<sup>2</sup>/m, valor próximo ao encontrado em regiões semi-áridas, evidenciando também uma maior preocupação com a conservação das áreas de recarga e com as matas ciliares. A bacia apresenta amplitude altimétrica de 500 m, com declividade média de 5,92 graus, considerada baixa, de declive plano e suave, com escoamento superficial lento ou médio. Esta declividade não impede o uso de máquinas agrícolas e a erosão hídrica não se constitui um problema, exigindo práticas simples de conservação do solo (plantio em nível, cobertura morta, rotação de culturas, por exemplo). Com relação à orientação das vertentes, predomina a orientação plana, com 33% da área total, o que favorece o desenvolvimento de cultivos agrícolas.

O coeficiente de rugosidade é de 5,05 (baixo). Tem uma relação importante com os parâmetros hidrológicos, tais como: maior infiltração da água, maior umidade do solo, regulação do tempo do escoamento superficial e baixa concentração da água das chuvas no canal principal. Resulta em menor possibilidade de erosão, o que favorece as práticas agrícolas. O Padrão de drenagem é do tipo dentrítico, característico de planícies de inundação, desenvolvido sobre estruturas sedimentares horizontais.

#### **4. Conclusões**

As informações derivadas dos parâmetros morfométricos ou associadas a estes são de grande valia à gestão ambiental na medida em que fornecem referenciais básicos para o conhecimento dos sistemas em questão e dão subsídio para um melhor direcionamento das ações de planejamento, servindo como ponto de partida para a definição e elaboração de Indicadores Ambientais.

A disponibilidade das imagens SRTM possibilitam estudos na escala 1:25.000 ou menores, o que, na maioria dos casos, é suficiente para os trabalhos destinados à gestão municipal, por exemplo. Os 13 parâmetros selecionados fornecem informações relevantes no tocante ao direcionamento de políticas ambientais, como o subsídio a definição da equipe técnica, em função da dimensão e característica das bacias hidrográficas; identificação de áreas vulneráveis a processos erosivos; aptidão a determinadas práticas produtivas e a identificação e quantificação de áreas destinadas à preservação e conservação ambiental e, conseqüentemente, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Outro ponto que merece destaque é o baixo custo para obtenção destas informações, o que para a maioria dos municípios brasileiros é um fator determinante. Desta forma, é possível estabelecer um

banco de dados sistematizado e um conjunto de Indicadores Ambientais com a finalidade de tornar o processo de gestão ambiental mais eficiente e eficaz, melhorando a qualidade de vida da população a partir de um uso mais racional do território.

## **5. Referências**

BEZERRA, A. F. **Qualidade Ambiental Urbana do Distrito de Baeta Neves, Município de São Bernardo do Campo (SP)**. São Paulo: USP, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

JÚNIOR, A. P. M. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

LOPES, L. H. – **Extração de drenagens e delimitação de bacias, ArcGIS 9x**. Disponível em: <http://geoluislopes.blogspot.com>. Acesso em 16 mar 2010.

PIRES, J. S. R; SANTOS, J. E; DEL PRETTE, M. E. **A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais**. In: Conceitos de Bacias Hidrográficas. Teorias e Aplicações. Ilhéus: Editus, 2005.